蔬菜族群改良（玉米為例）

盧煌勝

台灣省農業試驗所

遺傳質改良

玉米植株與產量有關的性狀大多由一系列效果很小的微效基因所控制，而這些微效基因易受環境影響，故數量性狀之外表型經常呈現常態分布（圖1）產量是非常複雜的數量遺傳性狀，不易以混合法及一穗一行法來作有效的改良。惟有從：（1）應用數量遺傳原理植物族群的改良；（2）應用不同的交配型式及田間設計及資料分析；（3）使控制性狀之有利基因頻度不斷累積等三方面的配合運用。

玉米遺傳質的改良，通常以輪迴選種法(recurrent selection methods)為之，輪迴選種法與譜系法略有不同，輪迴選種法包括後裔的產生（同親兄妹、異親兄妹、自交後裔等）、後裔產量檢定試驗與選拔、及逢機交配基因重組等三個步驟(圖2)。三個步驟為一循環，同時必須繼續進行，直到所需之性狀達到某種程度為止。

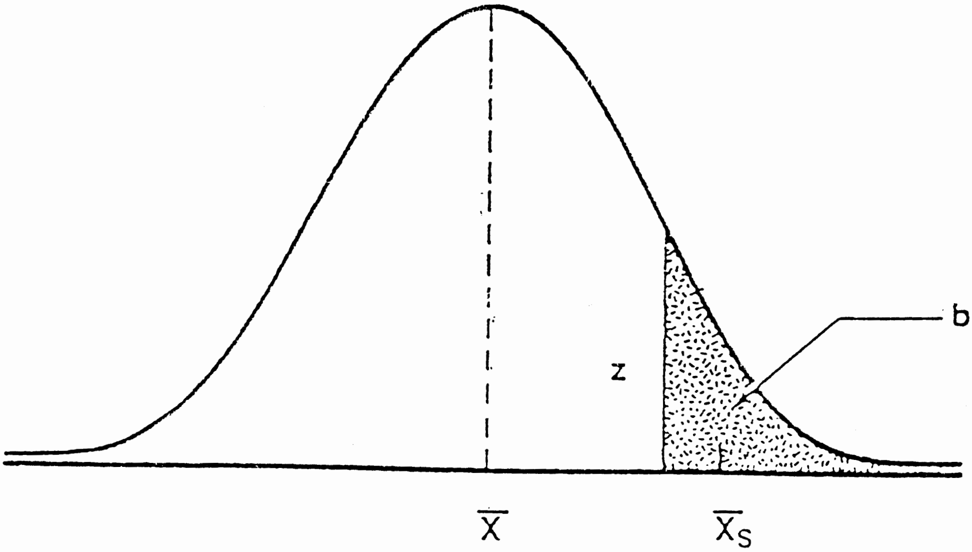

圖1. 數量性狀外表型之常態分布，X表族群平均，b為獲選部份，Xs為獲選部份之平均值，z為獲選與未獲選部份之臨界縱軸高度。

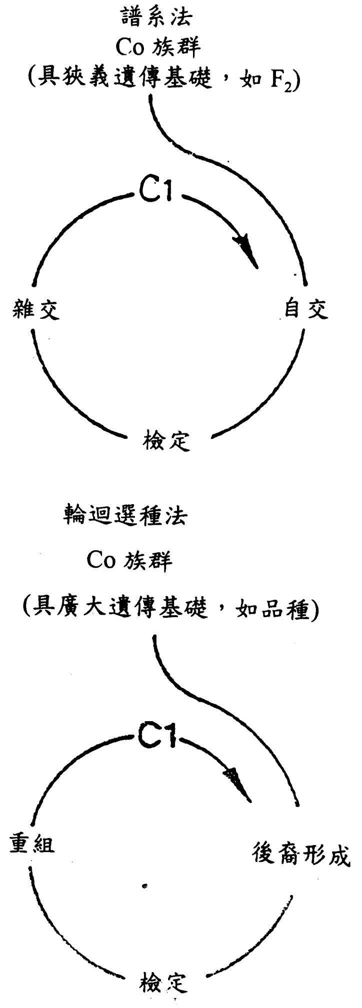

圖2. 譜系法及輪迴選種法改良玉遺傳質之循環程序

輪迴選種的目的有二：（1）增加族群中有利基因之頻度，使族群之平均值朝所要之方向移動；（2）經由優良個體間之逢機交配，以維持適當之變異，供繼續選拔之用。而開始族群材料的選擇、族群的大小、重組的方法以及栽培管理均會影響輪迴選種方法之成效。依改良目標、後裔型式（評估對象）、花粉親控制與否及逢機交配材料等之不同，過去學者所使用之輪迴選種方法列如表1，以供參考。

輪迴選種可分為兩大類別，其一為族群內改良(intrapopulation improvement)，其二為族群間改良(interpopulation improvement)。族群內改良在於使族群本身及由其產生之自交系獲得最大改良；而族群間改良則在於使兩族群間雜交種及兩族群產生之自交系間之雜交種，獲得最大改良。

表 1. 玉米族群改良之輪迴選拔方法

選拔法	評估之後裔	重組之後裔	重組後裔之花粉控制係數(c)	參考文獻
族群內改良				
混合法				
改良式	單株	單株	族群(c=0-0.5)	Original method
不選拔父本	單株	單株	族群(c=0.5)	Gardner 1961
選拔父本	單株	單株	獲選植株(c=1.0)	Eberhart 1970
異親兄妹				
穗行法	異親兄妹	異親兄妹	族群(c=0-0.5)	Hopking 1899
改良式	異親兄妹	異親兄妹	族群(c=0.5)	Lonnquist 1964
再改良式	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄 妹(c=1.0)	Compton and Comstock 1976
一般組合力	異親兄妹	異親兄妹		Jenkins 1940
	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	
特定組合力	異親兄妹			Hull 1945
	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	
同親兄妹				
	同親兄妹	同親兄妹	獲選同親兄妹(c=1.0)	Moll & Robinson 1966
	同親兄妹	自交第一代	獲選同親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Sprague & Eberhart 1977

選拔法	評估之後裔	重組之後裔	重組後裔之花粉控制係數(c)	參考文獻
自交系				
自交第一代	自交第一代	自交第一代	獲選之自交第一代(c=1.0)	Eberhart 1970
自交第二代	自交第一代	自交第一代或第二代	獲選者(c=1.0)	
自交第 n 代	自交第 n 代	自交第 n 代	獲選者(c=1.0)	
單粒後裔法	自交第 n 代	自交第 n 代	獲選者(c=1.0)	Brim 1966
族群間改良				
相互異親兄妹輪迴選拔法				Comstock *et al.* 1949
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	
自交第一代	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹自交第一代(c=2.0)	
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=1.0)	Paterniani & Venconsky 1977
剩餘之異親兄妹	異親兄妹	異親兄妹	獲選異親兄妹(c=0.5)	Paterniani 1978
自交系檢定親	異親兄妹	自交第一代	獲選異親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Russell & Eberhart 1975 Comstock 1979
同親兄妹相互輪迴選拔法				
同親兄妹	同親兄妹	自交第一代	獲選同親兄妹之自交第一代(c=2.0)	Hallauer & Eberhart 1970
同親兄妹	同親兄妹	多樣的	獲選後裔(c=0.5-2.0)	Marquez-Sanchez 1982

一、族群內改良方法

1.混合選種法(mass selection)

玉米之混合選種法為最古老之育種方法，選拔單位為單株。本法僅根據植株及果穗外表型選拔較優單株，收穫後果穗脫粒，將每果穗之等量種子加以混合。本法對遺傳率高之性狀選拔較為有效，但對產量之改進較不明顯。混合選拔一直用於玉米族群改良，其效果優劣端視選拔性狀遺傳率的高低、適當的隔離及試驗的精密度而定。

2.異親兄妹選種法(half-sib selection)

異親兄妹選種法比其他方法較常用於族群改良。通常其檢定親可為遺傳背景較窄之自交系，或遺傳背景甚廣之自然授粉品種、合成品種、綜合品種。檢定親的選拔依育種計畫目標及與雜種優勢相關之基因作用型式而定。如果所採用的檢定親並非自交系時，宜取較多的配子樣本以供雜交，藉使其具代表性。程序上，利用異親兄妹作多重複的產量比較試驗後，優異後裔基因型得以正確評估，下一季再把獲選優良後裔之剩餘種子或其自交種子，種植在一起令其互交以產生下一循環選拔所需之種子。

（1）穗行法(ear to row)

穗行法可分為兩種，一種為 Hopkin 早期用於改良玉米籽粒化學組成之方法。族群中之果穗，每穗於次代種一行。穗行法之選拔單位是後裔（一穗之異親兄妹系統），而非如混合法之選拔單位為單株。此法亦需適當隔離以防止其他品種花粉的混雜污染。通常其效果依性狀受環境影響的大小而定，受環境影響小者，效果較明顯。另一種為改良式之穗行法 (modified ear to row) 與穗行法相類似，只是採較多不同環境來評估穗行後裔，準確性因而增加。本法仍屬異親兄妹選種法的一種變型而已。

（2）測交檢定法(testcross)

本法依據測交檢定的結果進行選拔，在玉米的改良上經常使用，也是異親兄妹選種法的一種變型。如果當測交檢定法使用的檢定親為族群時，其期望遺傳增進量 (expected genetic advanve) 與異親兄妹選種法相類似。通常此兩種方法都使用共同的檢定親，主要用於生產測交種或異親兄妹後裔，以便進行後裔的評估及選拔。當檢定親作為父本時，則獲選後裔剩餘的種子可作為逢機交配材料，以進行重組。如果檢定親作為母本，則獲選之後裔可自交，再把S_1種子種植進行逢機交配，形成下一循環之族群。

3.同親兄妹選種法(full-sib selection)

同親兄妹選種法之雜交後裔具有相同的父母本，此與異親兄妹選種法只有一個親本相同的差異。同親兄妹後裔的產生，係經由二植株間之雜交。其選拔主要是根據雜交種之多重複產量試驗評估結果，然後把選留後裔的種子

種植混交，使其重組形成下一循環之族群。Hallauer 和 Eberhart (1970)建議在多穗型之族群中採用此法，每個植株並一舉完成同親兄妹後裔及自交種子生產，同親兄妹後裔作為評估之用，而自交種子作為重組之材料。由於受限條件較多，同親兄妹選種法所使用之頻率遠不及異親兄妹選種法。

4.自交後裔選種法(selfed progeny selection)

此法通常以自交一代 (S_1) 或自交二代 (S_2) 的後裔進行評估選拔。利用此法的優點為：可使自交後裔不良之穩性基因暴露出來，加以淘汰，同時可增加後裔間之遺傳變異性。缺點為：其世代間隔較長 (需考濾不良季節與氣候下的生長及保護) ，S_1及S_2後裔評估可能有較大的試驗誤差存在，以及在較高世代重組時可能有連鎖及自交效應出現。因此，在玉米育種上，本法並不如上述混合法、異親兄妹選種法及同親兄妹選種法之應用為普遍。

二、族群間改良方法

族群間的改良主要以輪迴選種為架構，基於檢定親的不同，可有幾種不同的形式。一般而言，與族群內改良之各種輪迴選種法類似，只是改良之對象係同時改良相對之二個族群而已。

1.相互輪迴選種法(reciprocal recurrent selection, RRS)

Comstock等(1949)首先提出相互輪迴選種法改良族群的產量。相互輪迴選種法係以A族群當B族群之檢定親，而B族群為A族群之檢定親。

2.同親兄妹相互輪迴選種法(reciprocal full-sib recurrent selection)

其步驟及型式與相互輪迴選種法類似，只是受檢親及檢定親為單株，同親兄妹交配之後裔由二個相對族群中之單株相互雜交產生。

3.自交系為檢定親之相互輪迴選種法(RRS with use of inbred lines as testers)

Horner(1985)提議以自交系當作檢定親，其步驟及型式與相互輪迴選種法類似，不同點在於以相對的兩個族群所育成之自交系，互為檢定親而已。

族群改良成功實例

玉米族群改良，由於改良性狀的遺傳率高低不一，使改良的效果具有差別，遺傳率高者或經2～3次循環即可達到改良目的；而遺傳率低者，則須經較長的時間才能達到效果。Sprague和Eberhart (1977)與Hallauer和Miranda(1981)綜合各種輪迴選種法對產量所獲的效果的研究，指出大部份方法可使一個循環增加2～4%之產量。

一、族群內改良

1.混合選種法

Salazar和Hallauer(1986)採用此法對玉米穗長經十五個循環之雙向選拔結果，顯示本法可有效增加及減少穗長(圖3)。

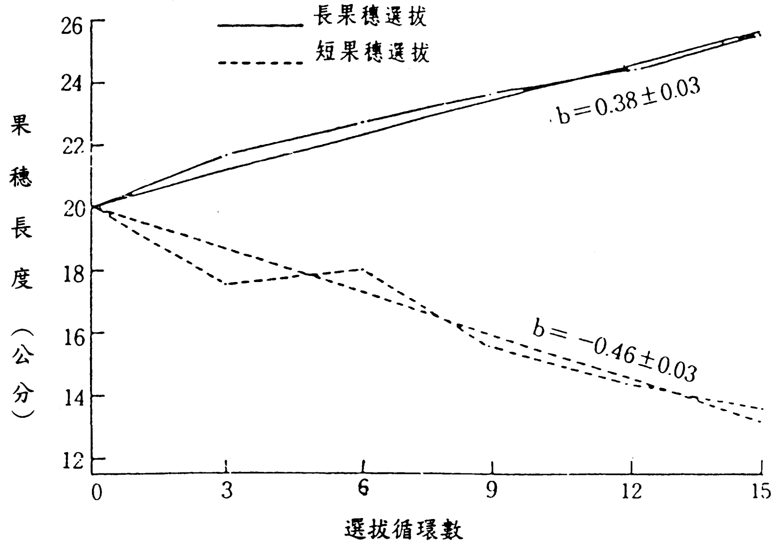

圖3. lowa Long Ear Synthetic經雙向選拔後穗長之變化情形
(仿Salazar & Hallauer 1986)

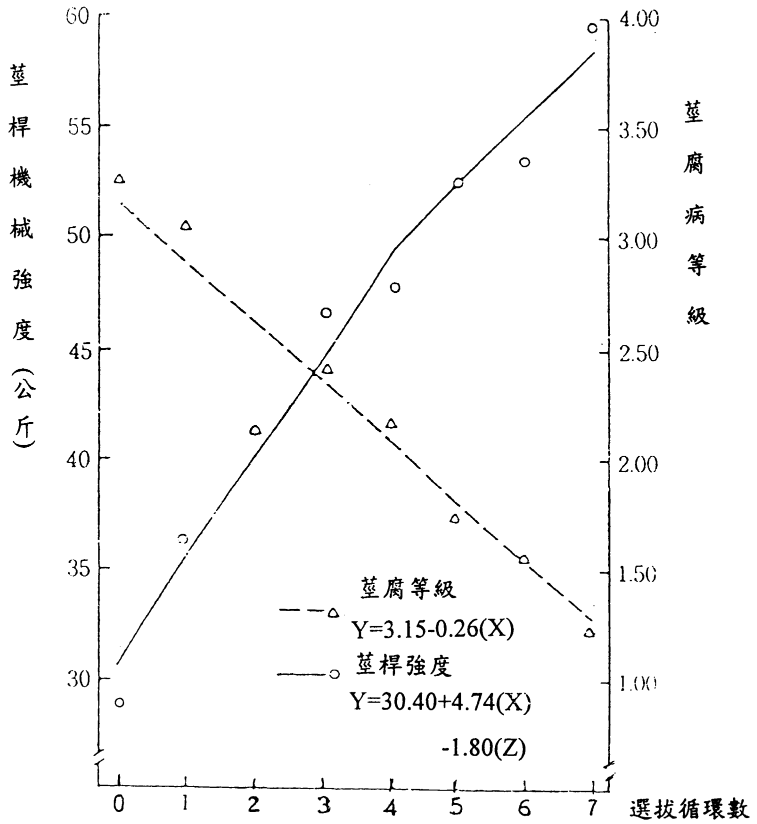

圖4. Lancaster經選拔後莖稈強度及莖腐病之變化（仿Devey& Rusell 1983）。

表2. 族群Krug Hil Syn. 3(BSK)經異親兄妹(HI)及S_1(S)輪迴選拔後其族群本身、自交後裔及雜交組合間之選種結果

選拔循環數	BSK (S) 族群本身	BSK (S) 自交後裔	BSK (S)× BSK (HI) 族群本身	BSK (S)× BSK (HI) 自交後裔	BSK (HI) 族群本身	BSK (HI) 自交後裔
			籽粒產量LSD (0.05) = 0.79公噸 / 公頃			
C_0	4.87	2.77	4.87	2.77	4.87	2.77
C_4	6.21	3.90	6.16	4.08	5.29	3.19
C_8	6.01	4.13	7.11	4.36	6.45	3.91
+	23.4	49.1	46.0	57.4	32.4	41.2
			籽粒含水率 LSD (0.05) = 1.3 %			
C_0	22.1	22.4	22.1	22.4	22.1	22.4
C_4	21.7	22.1	21.8	21.8	21.8	22.4
C_8	22.1	21.7	22.2	22.2	23.4	22.8
+	0	-3.2	0.4	-0.9	0.06	1.8
			根倒伏 LSD (0.05) = 10.0 %			
C_0	25.6	24.4	25.6	24.4	25.6	24.4
C_4	8.9	5.8	15.0	17.1	25.3	24.0
C_8	2.6	2.4	9.5	5.2	17.0	15.0
+	-89.8	-90.2	-62.9	-78.7	-33.6	-38.1
			莖桿倒伏 LSD (0.05) = 8.9 %			
C_0	41.4	40.4	41.4	40.4	41.4	40.4
C_4	39.0	41.0	48.7	46.8	39.9	39.8
C_8	51.7	49.9	46.0	49.1	36.0	34.1
+	24.9	23.5	11.1	21.5	-13.0	-15.6
			株高 LSD (0.05) = 9.4 公分			
C_0	232	210	232	210	232	210
C_4	227	209	231	212	230	216
C_8	227	210	234	195	213	200
+	-1.2	0	0.9	-7.2	-8.2	-4.8
			開花期 LSD (0.05) = 1.9 日			
C_0	21.5	23.8	21.5	23.8	21.5	23.8
C_4	19.8	21.0	19.0	22.5	20.5	22.8
C_8	20.3	21.8	17.5	20.5	20.6	22.5
+	-5.6	-8.4	-18.6	-18.9	-4.2	-5.5

2.後裔選種法

Devey和Russell (1983)利用S_1後裔選種法，將Lancaster天然授粉品種作七個循環之改良，結果其莖腐病由C_0的3.27級減至C_7的1.33級，效果極為明顯。而莖稈強度亦由C_0之28.7公斤增至C_4之47.0公斤，以及C_7之59.6公斤，增加極為明顯(圖4)。

3.異親兄妹選種法及自交後裔選種法

Tanner和Smith (1987)利用異親兄妹（HI）及自交後裔（S）選種法，針對族群BSK就產量進行改良，經八個循環BSK(S)C_8產量比BSK C_0增加23.4%，而BSK(HI)C_8增加 32.4% (表2)。其中自交後裔選種法每循環增加2.9%，而異親兄妹法每循環增加4.0%。兩種方法效果之差異，可能由於有效族群大小不同所造成，同時當性狀之控制基因以超顯性較重要時，則異親兄妹選種法也較為有效。

4.同親兄妹選種法

Moll和Hanson(1984)以Jarvis、 Indian Chief及Jarvis X Indian Chief為材料，經十個循環之同親兄妹選種法改良籽粒產量。結果 Jarvis每循環增加2.62%，而Indian Chief為0.65%。雜交種Jarvis X Indian Chief平均雜種優勢由C_0的13.5%增至C_{10} 的19.7%(表3)。

表 3. 族群 Jarvis 及 Indian Chief 經十個循環之同親兄妹輪迴選拔後其籽粒產量之反應 (Moll & Hanson 1984)

選拔循環數	Jarvis		Indian Chief		Jarvis × Indian Chief	
	試驗 1	試驗 2	試驗 1	試驗 2	試驗 1	試驗 2
	公噸／公頃					
C_0	5.02	7.36	5.77	8.54	6.22	8.93
C_4	5.69	-----	5.67	-----	6.85	-----
C_8	6.79	9.03	6.48	8.49	7.45	10.77
C_{10}	6.57	8.85	6.41	8.92	7.35	11.18
C_8和 C_{10} ≠	-----	8.94	-----	8.70	-----	10.98
b，公噸／公頃／輪迴	0.176	0.166	0.081	0.025	0.122	0.226
改變量(%) §	30.9	21.5	11.1	1.9	18.2	23.0

—：數據無法取得。

≠：合併 C_8 及 C_{10} 之數據。

§：相對於C_{10}或C_8與C_{10}之改變量。

另外CIMMYT(1982)的育種專家，以Tuxpeno Crema 1為材料，經二十個循環的同親兄妹後裔選種。結果收穫指數(HI)由0.30 增至0.49，而株高減少47.6%，籽粒產量增加67.7%，總乾物重則減少9%表(4)。

表 4. 族群 Tuxpeno Crema 經親兄妹輪迴選拔後之株高變化(CIMMYT 1982)

選拔循環數	株高	籽粒產量	總乾物量	收穫指數
	公分	—— 公噸／公頃	——	
0	273	4.05	14.94	0.30
6	211	5.54	14.75	0.38
9	203	5.67	15.32	0.39
12	196	6.18	15.37	0.41
15	173	6.73	15.12	0.46
17	156	6.23	13.10	0.47
20	143	6.79	13.60	0.49
b1	-6.1 ± 0.5	0.12 ± 0.02	-0.07 ± 0.05	0.020 ± 0.005
改變量%	47.6	67.7	-9.0	63.3

另外CIMMYT(1984)以8個熱帶玉米族群為材料，經四及五循環之同親兄妹選種，以籽粒產量為主要選拔性狀。結果籽粒產量平均增加5.9%，即每個循環增加1.3%。同時，每循環開花期提早0.6%，植株高度減少1.1%，穗位高減少1.8%，每株穗數增加0.9% (表5)。

表 5. 八個熱帶玉米族群經同親兄妹輪迴選拔後之籽粒產量、吐絲期及株高之變化(CIMMYT 1984)

選拔循環期	性狀		
	籽粒產量（公噸／公頃）	吐絲期（天）	株高（公分）
C_0	5.88	67.2	229.2
C_4-C_5 +	6.23	65.4	218.4
效果 %	5.93	-2.6	-4.6
變域 %	0.16~9.46	-4.4~1.4	-9.0~3.8
效果／循環 %	1.27	-0.6	-1.0
變域 %	0.03~1.89	-0.9~0.3	-1.9~0.8

+： C_4 為 3 個族群之平均， C_5 則為 5 個族群之平均。

二、族群間改良

1.相互輪迴選種法

Moll和Hanson (1984)以Jarvis及Indian Chief二族群為材料，針對籽粒產量及單株穗數進行十個循環之相互輪迴選種。Jarvis、Indian Chief及Jarvis X Indian Chief之籽粒產量在第一個試驗中分別增加26.7%、減少7.1%及增加

19.8%。第二個試驗中分別增加22.0%、減少11.6%及增加20.9%。單株穗數在第一個試驗中分別增加64.6、19.2及32.8%；第二個試驗分別增加64.4、17.4及38.9%。產量雜種優勢由Co之13.8% 增加至C_{10}族群的28.9%(表6)。

表 6. 族群 Jarvis 及 Indian Chief 經十個循環之相互輪迴選拔後，穗數及籽粒產量之選拔效果(Moll & Hanson 1984)

選拔循環數	籽粒產量			單株穗數		
	Jarvis	Indian Chief	Jarvis by Indian Chief	Jarvis	Indian Chief	Jarvis by Indian Chief
	公噸／公頃			No.		
試驗 1						
C_0	5.02	5.77	6.22	0.99	1.30	1.25
C_4	5.49	5.57	6.48	1.23	1.41	1.37
C_8	6.59	5.43	7.77	1.54	1.46	1.56
C_{10}	6.36	5.36	7.45	1.63	1.55	1.66
b^+	0.157	-0.041	0.153	0.066	0.023	0.041
效果%$^{\neq}$	26.7	-7.1	19.8	64.6	19.2	32.8
試驗 2						
C_0	7.36	8.54	8.93	1.01	1.38	1.29
C_8	9.31	7.76	10.77	1.63	1.50	1.75
C_{10}	8.66	7.34	10.84	1.68	1.73	1.83
C_8+C_{10}	8.98	7.55	10.80	1.66	1.62	1.79
b^+	0.162	-0.114	0.202	0.070	0.029	0.055
效果%$^{\neq}$	22.0	-11.6	20.9	64.4	17.4	38.9

＋：b 值為籽粒產量(公噸／公頃／循環)與單株穗數(穗／株／循環)之複迴歸數。
≠：為最後選拔循環比較C_0之平均改變量。

2.同親兄妹相互輪迴選種法

Hallauer(1984) 利用 Iowa Two-ear Synthetic (BS10) 及 Pioneer Two-ear Composite (BS11)，經七個循環對籽粒產量選拔，結果 BS10 x BS11、BS10及BS11每循環增加2.1、2.7及2.4%。而雜種優勢的表現，也由$C_0 \times C_0$的6.3%增加至$C_7 \times C_7$的28.4%。與六個對照比較，同親兄妹後裔已自低於三個標準偏差改變為高於三個標準偏差(圖5)。

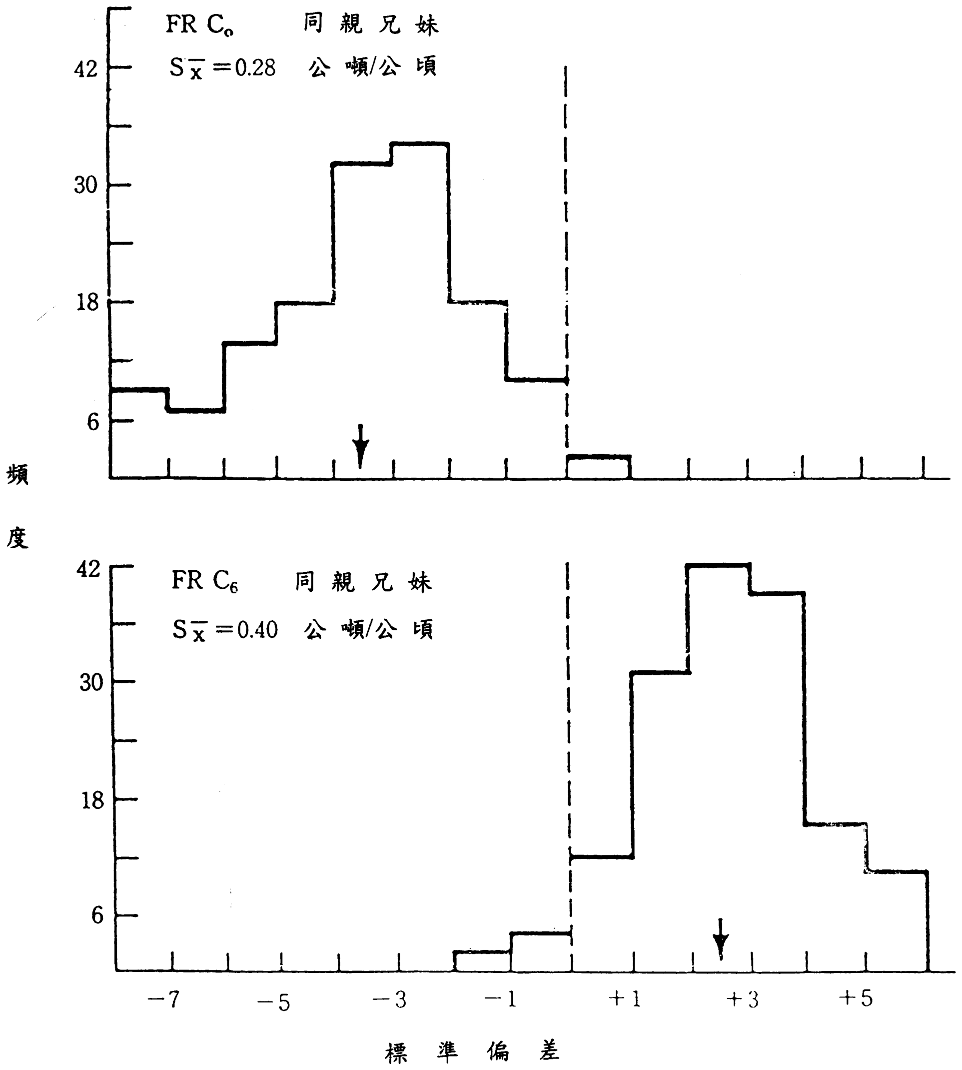

圖5. 六個對照品種與C_0及C_6（同親兄妹輪迴選拔）之籽粒產量分布情形（仿Hallauer 1984）

三、不同輪迴選種法之效果比較

經許多學者研究顯示，當累加性遺傳變方較為重要時，以譜系法或混合法皆可達到相當之改良效果；當非累加性遺傳變方的顯性部份佔較重要時，則以相互輪迴選種較為有效。 Janes等(1971)比較同親兄妹相互輪迴選種與異親兄妹相互輪迴選種法之效果，認為效果的大小受選拔強度(selection intensity)及環境變方(environment variance)所影響。當環境變方大於遺傳變方時，在較低之選拔強度下，以同親兄妹輪迴選種法較異親兄妹輪迴選種法為有效。West等(1980)比較S_1後裔選種法與同親兄妹選種法之效果，指出前者較為有效。

四、改良族群之利用

經輪迴選種改良後之族群，可分離自交系育成雜交種或合成品種，如B14與B37分離自B13之C_0族群；其後B73來自C_5；B84來自C_7。愈後來之自交系，往往具有更高之組合力，B84 X Mo17、B73 X Mo17及B37 X Mo17三個單交之中，表現以B84 X Mo17居首，B73 X Mo17其次(表7)。改良族群亦可直接利用綜合品種。

表 7. 四個雜交種在 lowa 四個地點進行十年(1976-1985)試驗之農藝性狀平均值+

雜交組合	籽粒產量	籽粒含水率	倒伏		掉落穗
			根	莖	
	公噸／公頃	%			
B14A × Mo17	7.28	20.6	11.4	7.6	1.0
B37 × Mo17	7.74	22.6	16.4	16.6	1.2
B73 × Mo17	8.51	22.4	15.2	9.8	1.7
B84 × Mo17	9.56	22.9	12.1	10.8	0.8
LSD (0.005)	0.38	0.5	4.8	3.8	----

+ 37 個循環(地區×年度)；其中三個試驗不計。產量： B84>B73>B14A=12.3 ， 10.0及 6.3 %。

五、影響選拔效果的因素

期望遺傳增進量之一般公式為$G = CK\sigma_A^2/Y\ \sigma_F$，其中G為每年期望增進量，C為親本控制程度，K為選拔強度，σ_A^2為累加性變方，σ_F為選拔性狀之外表型偏差，Y為完成一個循環所需之年限。由此公式可知影響遺傳進量的因素至少包括七項：

1.親本控制值

在單親混合選種法為1/2，雙親混合選種法為1。同理，根據S_1後裔及同親兄妹選種法之C值，必較異親兄妹選種法之C值為高。

2.選拔強度

當選拔強度增大時，K值增大。選拔強度為2、5、10及20%，則K值分別為2.42、2.06、1.75、及1.40。較大的選拔強度容易造成近交退化，較小的選拔強度增進量則小。理想的選拔強度，通常認為在10-20%之間。

3.基因作用型式

累加性及非累加性變方成份大小將明顯影響遺傳增進量。一般累加性變方比例較大時，其遺傳增進量也大。

4.每循環所需之年數

完成一個循環所需之年數越多，則換算為每年之增進量通常變少。

5.基因型評估的準確性

適當而謹慎的設計，且在多地點進行試驗，將較有利於遺傳增進量的準確評估。

6.有效族群的大小

較大的有效族群可提供較大的遺傳變異性，如此才較有機會選獲理想之基因型。一般有效族群的大小，混合選種法＞異親兄妹選種法＞同親兄妹選種法＞自交後裔選種法。

7.性狀的相關程度

性狀間遺傳相關大小會影響選拔效果。同時選拔幾個性狀時，其遺傳增進量一般較單一性狀選拔時為小。

參考文獻

Allard, R. W., and A. D. Bradshaw. 1964. Implication of genotype-environmental interactioa in applied plant breeding. Crop Sci. 4:503-508.

Bailey,L. H. 1949. Manual of cultivated plants. Macmillan Co. New York. pp. 142 - 143.

Baker, R. 1984. Some of the open pollinated varieties that contributed the most to modern hybrid corn. In:Twentieth Annual Illinois Corn Breeders School. pp. 1-19

Brandolini, A., and F. Salamini, 1985. Breeding strategies for maize production improvement in the tropics. Florence and Bergamo, Italy.

Buaman. L. F. 1981. Review of methods used by breeders to develop superior corn inbreds. Proc. Annu. Corn Sorghum Ind. Res. Conf. 36:199-208.

Cohen, J. I. 1982. Evaluating alien germplasm for the improvement of maize hybrids. Ph. D thesis, Univ. of Mass.

Comptock, R. E. 1979. Inbred lines vs, the populations as testers in reciprocal recurrent selection. Crop Sic. 19:881-886.

Compton, W. A., and R. E. Comstock. 1976. More on modified ear-to-row selection. Crop Sci. 16;122.

Comstock, R. E., H. F. Robinson, and P. H. Harvey. 1949. A breeding procedur designed to make maximum use of both general and specific combining ability. Agron. J. 41:360-367.

Darrah, L. L., and M. S. Zuber. 1986. 1985. United States farm maize germplasm base and commercial breeding strategines. Crop Sci. 26:1109-1113.

Devey, M. E., and W. A. Russell. 1983. Evaluation of recurrent selection for stalk quality in a maize cultivar and effects of other agronomic traits. Iowa State J. Res. 58:207-219.

Dudley, J. W. 1982. Theory for transfer of alleles.Crop Sci. 22:631-637

Dudley, J. W. 1984a. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. Crop Sci. 24:355-357.

Dudley, J. W. 1984b. A method of identifying populations containing favorable alleles not present in elite germplasm. Crop Sci. 24:1053-1054.

Dudley, J. W. 1987a. Modification of methods for identifying populations to be used for improving parents of elite single croses. crop Sci. 27:940-943.

Dudley, J. W. 1987b. Modification of methods for identifying inbred lines useful for improving parents of elite single crosses. Crop Sci. 27:944-947.

Dudley, J. W. 1988. Theory for identification of lines or populatiOns useful for improvement of elite single crosses. pp. 451-461. In: B. Weir (ed.) Proc. Ind. Int. Conf. on Quantitative Genetics, Raleigh, NC. 1-5 June. 1987.Sinauer Assoc., Sunderland, HA.

Eberhart, S. A. 1970. Factors affecting effifiencies of breeding mehods. Afr. Soils 15:669-680.

Elston, R. C. 1963. A weight free index for the purpose of raking, or selection with respect to several traits at a time. Biometrics 19:85-97.

Fehr, W. R. 1984. Genetic contributions to yield grains of five major crop plants. Crop Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, USA. pp. 15-48.

Gallais, A. 1987. Heterosis: its prediction and utillization in plant breeding Heredity 59:312-313.

Gama, E. E. G., and A. R. Hallauer. 1977. Relation between inbred and hybrid traits in maize. Crop Sci. 17:703-706.

Gardner, C. O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Sci. 1:241-245.

Goodman, M. M. 1985. Exotic maize germplasm: status, prospects, and remedies. Iowa State J. Res. 59:497-527.

Griffing, B., and H. Zsiros. 1971. Heterosis associated with genotype- environment interactions. Genetics 68:443-445.

Hallauer, A. R. 1984. Reciprocal full-sib selection in maize. Crop Sci. 24:755-759.

Hallauer, A. R. and S. A. Eberbart. 1966. Reciprocal full-sip selection. Crop Sci. 10:315-316.

Hallauer, A. R., and E. Lopez-Perez. 1979. Comparisons among testers for evaluating lines of corn. Proc. Annu. Corn sorghum Ind Res. Conf. 34:57-72.

Hallauer, A. R., and J. B. Miranda, FO. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.

Hazel, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indices. Genetics 28:476-490.

Hull, F. H. 1945. Recurrent selection and specific combining ability in corn J. Am. Soc. Agron. 37:134-145.

Jones, L. P .,W. A. Compton, and C.O. Gardner. 1971. Comparison of full and half-sib reciprocal recurrent selection. Theor. Appl. Genet. 41:36-39.

Kauffmann, K. D .,C. W. Crum, and M. F. Lindsey. 1982. Esotic germplasm in a corn breeding program. Ⅲ. Corn Breeder's School 18:6-39.

Klenke, J. R., W. A.Russell, and W. D. Guthrie. 1986. Recurrent selection for resistance to European corn borer in a corn synthetic and correlated effects on agronomic traits. Crop Sci. 26:864-868.

Lonnquist, J. H. 1964. A mosification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. Crop Sci. 4:227-228.

Marquez-Sanchez, F.1982. Modifications to cyclic hybridization in maize with single-eared plant. Crop Sci. 22:314-319.

Martin, M. J., and W. A. Russell. 1984. Correlated responses of yield and other agronomic traits to recurrent selection for stalk quality in a maize (Zea mays L.) synthetic. Crop Sci. 24:746-750.

Moll, R. H., and W. D. Hanson. 1984. Comparisons of effects of intrapopulations vs interpopulation selection in maize. Crop Sci. 24:1047-1052.

Moll, R. H., and H. F. Robinson. 1966. Observed and expected response in four selection experiments in maize. Crop Sci. 6:319-324.

Moll, R. H., W. S. Salhuana, and H. F. Robinson. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crossed of maize. Crop Sci. 2:197-198.

Mulamba, N. N., and J. J. Mock. 1978. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (Zea mays L.) population by breeding for plant traits. Egypt. J. Genet. Cytol. 7:40-41.

Pandey. S., and C. O. Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. Advances in Agronomy 48:1-87.

Paterniani, E. 1978. Phenotypic recurrent selection for prolificacy in maize. Maydica 23:29-34.

Paterniani, E. 1990. Maize breeding in the tropics. Critical Reviews in Plant Sciences 9:125-154.

Paterniani, E., and R. Vencovsky. 1977. Reciprocal recurrent selection in maize(Zea mays L.) based on testcrosses of half-sib families. Maydica 22:141-152.

Perkins, J. M., and J. L. Jinks. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. Ⅲ. Multiple lines and crossess. Heredity 23:339-356.

Pesek, J., and R. J. Baker. 1969. Desired improvement in relation to selection indices. Can. J. Plant Sci. 49:803-804.

Prasad, S. K., and T. P. Singh. 1986. Heterosis in relation to genetic divergence in maize(Zea mays L.) Euphytica 35:919-924.

Richey, F. D. 1922. The experimental basis for the present status of corn breeding. J. Am. Soc. Agron. 14:1-17.

Russell, N., and M. Listman.1988. Recent advances in the conservation and utilization of genetic resources. Proc. Global Maize Germplasm workshop. CIMMYT. Mexico.

Russell, W. A. 1991. Genetic improvement of maize yield. Advances in Agronomy 46:245-298.

Russell. W. A., and S. A. Eberhart. 1975. Hybrid performance of selected maize lines from reciprocal recurrent and testcross selection programs. Crop Sci. 15:1-4.

Russell, W. A., and Veronica Machado. 1978. Selection procedure in the development of maize inbred lines and the effects of plant densities on the relationships between inbred traits and hybrid yield. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull. 585.

Salazar, A. M., and A. R. Hallauer. 1986. Divergent mass seiection for ear length in maize.Rev. Bras. Genet. 9:281-294.

Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. Heredity 29:237-245.

Smith, H. F. 1936. A discriminant function for plant selection. Ann. Eugen. 7:240-250.

Smith, J. C. S. 1985. Genetic variability within U. S. maize germplasm. II. Widely-used inbred lines 1970 to 1979. Crop Sci. 25:681-685.

Smith, J. C. S .,M. M. Goodman, and C. W. Stuber. 1985. Genetic variability within U. S. maize germplasm. I. Historically important lines. Crop Sci. 25:550-555.

Sprague, G. F., and J. Dudley. 1988. Corn and corn improvement. 3rd ed Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA.

St. Martin, S. K., P. J. Loesch, Jr., J. T. Demopulos-Rodriguez, and W. J. Wiser. 1982. Selection indices for the improvement of opaque-2 maize Crop Sci. 22:478-485.

Tanner, A. H., and O.S. Smith. 1987. Comparison of half-sib, S1 recurrent Selection in Krung Yellow Dent maize populations. Crop Sci. 27:509-513.

Walden, D. 1978. Maize breeding and genetics. John Wiley & Sons, New York, USA.

Wellhausen, E. J. 1965. Exotic germplasm for improvement of corn belt maize. Proc. 20th Ann. Hybrid Corn 2nd Res. Conf. pp. 31-45.

Wellhausen, E. J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. In:Maize Breeding and Genetics. Walden, D. B. (ed.) pp. 59-84. Willy, New York.

West, D. R., W.A. Compton, and M. A. Thomas. 1980. Comparison of replicated S1 per se vs reciprocal full-sib index selection in corn. I. Indirect response to population densities. Crop Sci. 20:35-42.

Williams, J. S. 1962. The evaluation of a selection index. Biometrics 18:375-393.